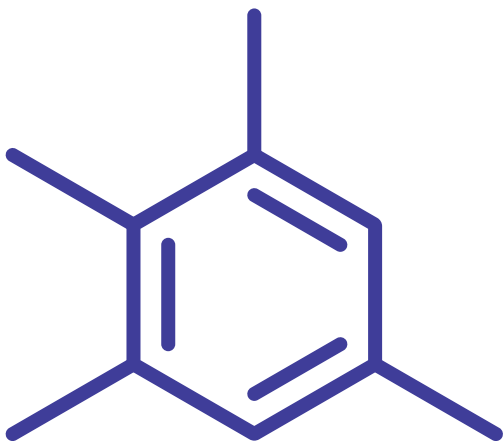


Илья ЛЕЕНСОН

ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ



Издательство АСТ
Москва

УДК 54
ББК 24.12
ЛЗ9

В оформлении использованы материалы фотобанка *Shutterstock*

Все права защищены.

Ни одна часть данного издания не может быть воспроизведена или использована в какой-либо форме, включая электронную, фотокопирование, магнитную запись или какие-либо иные способы хранения и воспроизведения информации, без предварительного письменного разрешения правообладателя.

Леенсон, Илья Абрамович.

ЛЗ9 Химические элементы / И. А. Леенсон — Москва: Издательство АСТ, 2027. — 160 с.: ил. (*Узнай за 1 минуту*).

ISBN 978-5-17-190713-6

Илья Абрамович Леенсон (1945–2019) — автор научных и научно-популярных книг и статей; преподавал на химическом факультете МГУ и в Высшем химическом колледже РАН. Ставший классическим путеводитель по химическим элементам представлен здесь в новой форме — насыщенного текста, который легко прочитывается всего за одну минуту, и коллажа, иллюстрирующего изложенные факты.

УДК 54
ББК 24.12

ISBN 978-5-17-190713-6

© Леенсон И. А., 2027
© ООО «Издательство АСТ», 2027

Содержание

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ ТАБЛИЦА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА	5
ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА	6
ХИМИЧЕСКИЙ ЭЛЕМЕНТ	8
АТОМ	10
КЛАРКИ ЭЛЕМЕНТОВ	12
Водород	14
МЕТАЛЛЫ	16
Щелочные металлы	18
Щелочноземельные элементы	28
Группа скандия	40
Лантаноиды	42
Актиноиды	50
Группа титана	56
Группа ванадия	62
Группа хрома	66
Группа марганца	72
Триада железо — кобальт — никель	78
Триада рутений — родий — палладий	84
Триада осмий — иридий — платина	90
Группа меди	96
Группа цинка	102
Группа бора	108
Группа углерода	114
Группа азота	124
Группа кислорода	134
Галогены	142
Благородные газы	150
Трансурановые элементы	158

- S-ЭЛЕМЕНТЫ
- P-ЭЛЕМЕНТЫ
- D-ЭЛЕМЕНТЫ
- F-ЭЛЕМЕНТЫ

© 2006 The Authors
Journal compilation © 2006 Blackwell Publishing Ltd

										VIII														
										2	He Гелий 4,002602(2)													
			III			IV			V			VI			VII									
			5	B Бор 10,81			6	C Углерод 12,011			7	N Азот 14,007			8	O Кислород 15,999			9	F Фтор 18,9984032(5)			10	Ne Неон 20,1797(6)
			13	Al Алюминий 26,9815386(8)			14	Si Кремний 28,085			15	P Фосфор 30,973762(2)			16	S Сера 32,06			17	Cl Хлор 35,45			18	Ar Аргон 39,948(1)
III																								
28	Ni Никель 58,6934(4)	29	Cu Медь 63,546(3)	30	Zn Цинк 65,38(2)	31	Ga Галлий 69,723(1)	32	Ge Германий 72,63(1)	33	As Мышьяк 74,92160(2)	34	Se Селен 78,96(3)	35	Br Бром 79,904(1)	36	Kr Криптон 83,798(2)							
46	Pd Палладий 106,42(1)	47	Ag Серебро 107,8682(2)	48	Cd Кадмий 112,411(8)	49	In Индий 114,818(3)	50	Sn Олово 118,710(7)	51	Sb Сурьма 121,760(1)	52	Te Теллур 127,60(3)	53	I Иод 126,90447(3)	54	Xe Ксенон 131,293(6)							
78	Pt Платина 195,084(9)	79	Au Золото 196,966569(4)	80	Hg Ртуть 200,59(2)	81	Tl Таллий 204,38	82	Pb Свинец 207,2(1)	83	Bi Висмут 208,98040(1)	84	Po Полоний [209]	85	At Астат [210]	86	Rn Радон [222]							
110	Ds Дармштадтий [281]	111	Rg Рентгений [282]	112	Cn Коперниций [285]	113	Nh Нихоний [286]	114	Fl Флеровий [289]	115	Mc Московский [290]	116	Lv Ливерморий [293]	117	Ts Теннессин [294]	118	Og Оганесон [294]							
63	Eu Европий 151,964(1)	64	Gd Гадолиний 157,25(3)	65	Tb Тербий 158,92535(2)	66	Dy Диспрозий 162,500(1)	67	Ho Гольмий 164,93032(2)	68	Er Эрбий 167,259(3)	69	Tm Тулий 168,93421(2)	70	Yb Иттербий 173,054(5)	71	Lu Лютеций 174,9668(1)							
95	Am Америций [243]	96	Cm Кюрий [247]	97	Bk Берклий [247]	98	Cf Калифорний [251]	99	Es Эйнштейний [252]	100	Fm Фермий [257]	101	Md Менделевий [258]	102	No Нобелий [259]	103	Lr Лоуренсий [266]							

6 — ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

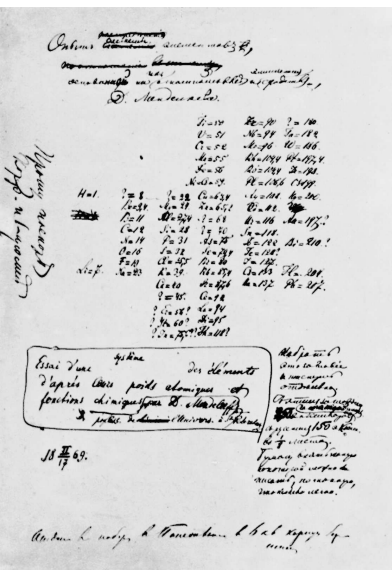
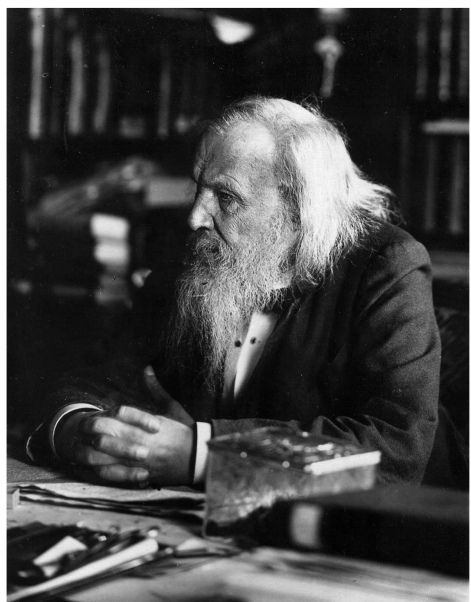
Многие свойства химических элементов были изучены еще в XIX в. В последнее прижизненное издание своего классического учебника «Основы химии» (1906 г.) гениальный химик Д. И. Менделеев поместил символы 71 элемента. Современная Периодическая таблица содержит 118 известных химических элементов, которые разбиты на 7 периодов и 18 групп. Названия четырех элементов (с номерами 113, 115, 117 и 118), полученных в 2002–2010 гг. в России, США и Японии, были утверждены в 2016 г.

Периодическая таблица Д. И. Менделеева содержит очень много информации. В каждой клетке помещены символ элемента, его название, порядковый номер Z и относительная атомная масса. Массы атомов известны с очень высокой точностью, но выражать их в граммах неудобно. Например, масса атома урана-238 составляет $3,952 \times 10^{-22}$ г. Поэтому массу атомов выражают в относительных единицах и обозначают A_r (буква r — от лат. *relativus* — «относительный»); это безразмерная величина, показывающая, во сколько раз масса данного атома больше массы другого атома, принятого в качестве стандарта. За стандарт в настоящее время принята $1/12$ часть массы самого распространенного в органическом мире нуклида — углерода-12.

В таблице атомные массы элементов указаны с разной точностью. Происходит это потому, что большинству элементов в природе представлено несколькими стабильными изотопами, причем их соотношение в разных местах Земли не постоянно. Например, атомные массы водорода (H) и тяжелого водорода — дейтерия (D) известны с исключительно высокой точностью: 1,007825035 для H и 2,014101779 для D. Если бы соотношение H и D в природе везде и всегда было постоянным, атомную массу природного водорода тоже можно было бы рассчитать с очень высокой точностью. Но более легкие молекулы H_2O испаряются с поверхности морей и океанов немного легче, чем молекулы D_2O и HDO ; в подземных водах они чуть быстрее просачиваются через песок и другие породы. Поэтому если определять атомную массу природного водорода в разных местах Земли, то получатся немного разные значения. Другое дело элементы-одиночки, представленные в природе всего одним нуклидом (^{19}F , ^{23}Na , ^{27}Al , ^{31}P и др.). Для таких элементов значение A_r можно определить с высокой точностью, например для натрия $A_r = 22,98976928(2)$ (цифра в скобках указывает на погрешность измерения в последнем знаке).

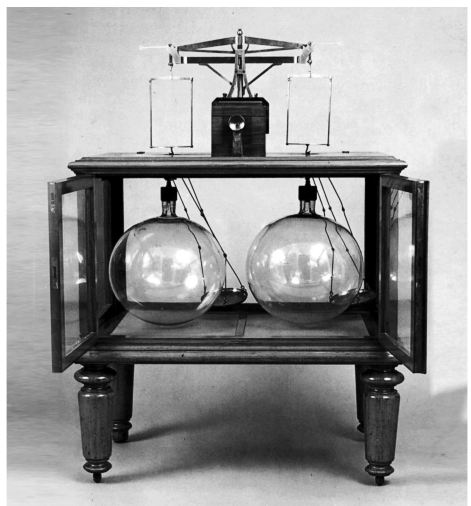
Для элементов с $Z > 83$, то есть после висмута, значения A_r обычно стоят в скобках; то же мы видим для технеция ($Z = 43$) и прометия ($Z = 61$). У этих элементов нет ни одного стабильного изотопа, в природе они практически не встречаются, и для них указывают не значение A_r , а массовое число самого долгоживущего из известных изотопов. Есть еще одна причина поместить эти числа в скобки. Когда открывают новый радиоактивный элемент, то получают вначале лишь один из его изотопов. Но впоследствии часто синтезируются изотопы с большим временем жизни, и тогда число в скобках заменяют.

Д. И. Менделеев
в своем кабинете.
Главная палата мер и весов,
Санкт-Петербург. 1897 г.



Рукопись «Опыт системы
элементов, основанной на их
атомном весе и химическом
сходстве», являющаяся
первым вариантом периоди-
ческого закона. 17 февраля
(1 марта) 1869 г.

Весы, сконструированные
Д. И. Менделеевым
для взвешивания газообразных
и твердых веществ.



8 — ХИМИЧЕСКИЙ ЭЛЕМЕНТ

Понятие «химический элемент» сформировалось в XVIII в. Но почти за 2500 тысяч лет до этого древнегреческие философы сформулировали атомистическую гипотезу. Впервые понятие атома появилось у Левкиппа (ок. 500–440 до н.э.), а развил эту теорию его ученик Демокрит (ок. 460–371 до н.э.). Они считали, что в мире все состоит из мельчайших, не видимых глазом частиц, которые могут соединяться и разъединяться, порождая все видимые вещи. Суть теории описал древнеримский философ Тит Лукреций Кар (ок. 99–55 до н.э.) в поэме «О природе вещей».

Затем атомистическая теория была забыта. Ее возродил, уже на строгой научной основе, английский химик Джон Дальтон (1766–1844). Каждому известному элементу у Дальтона соответствовали атомы с особыми массой и свойствами. Эксперименты Дальтона впервые позволили определить относительные атомные массы ряда химических элементов. Различные элементы в своих статьях Дальтон изображал как старинными алхимическими символами, так и изобретенными им значками.

Дальтон известен также тем, что описал дефект зрения, которым страдал, — цветовую слепоту, которая названа дальтонизмом.

Окончательно понятие химического элемента сформировалось во второй половине XVIII в.,

ELEMENTS					
	Hydrogen.	1		Strontian	^{iv} 46
	Azote	5		Barytes	68
	Carbon	5		Iron	
	Oxygen	7		Zinc	56
	Phosphorus	9		Copper	56
	Sulphur	13		Lead	90
	Magnesia	20		Silver	190
	Lime	24		Gold	190
	Soda	28		Platina	190
	Potash	42		Mercury	167

Элементы Дальтона

в частности, в работах великого французского химика А. Л. Лавуазье (1743–1794). Он писал: «Все вещества, которые мы еще не смогли никаким способом разложить, являются для нас элементами». В настоящее время химическим элементом называется совокупность атомов одного сорта. Химический элемент — это абстракция, осязаемо лишь простое вещество, состоящее из элементов. Простые вещества, образованные одним и тем же элементом, отличаются либо числом атомов в молекуле, либо расположением атомов относительно друг друга в кристалле.

Если вещество построено из атомов разных элементов, то оно называется сложным. Вода поначалу считалась простым веществом. Лавуазье впервые сумел разложить ее: он пропустил водяные пары через раскаленный ружейный ствол, и атомы железа оторвали атомы кислорода от молекул воды,

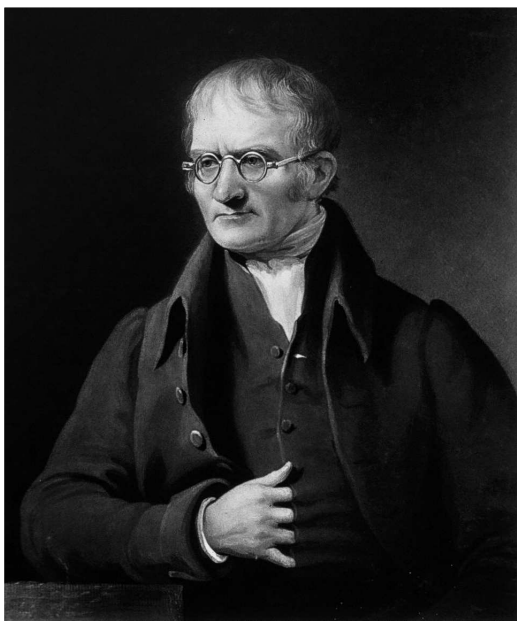
превратившись в окалину. Остался газообразный водород, который Лавуазье смог собрать. При соединении водорода с кислородом снова получалась вода. Когда итальянский физик Алессандро Вольта (1745–1827) изобрел удобный источник электрического тока, с его помощью удалось разложить воду и получить сразу и водород, и кислород. Газ хлор химика, напротив, считали сложным веществом. Однако все попытки разложить его не удалось, и пришлось признать, что хлор — простое вещество.

Когда реагируют железо и сера, два простых вещества, образуется сложное вещество — сульфид железа, который по физическим и химическим свойствам совершенно не похож ни на железо, ни на серу (так же, как вода не похожа на водород и кислород). Мы можем сказать, что сульфид железа состоит из элемента железа и элемента серы. Нонельзя сказать, что сульфид железа содержит простые вещества — железо и серу. В этом случае вещество представляло бы собой смесь, то есть часть его притягивалась бы магнитом, а другая часть имела желтый цвет и легко плавилась.

Д. Дальтон



А. Лавуазье (1743–1794).
Гравюра С. Е. Вагстаффа,
опубликованная в 1835 г.



Атомы состоят из очень плотного и очень маленького ядра, около которого движутся электроны: от одного в атоме водорода до 118 электронов в атоме оганесона, последнего элемента, получившего официальное название.

Атом напоминает Солнечную систему: планеты в ней движутся вокруг центрального массивного тела — Солнца, а электроны в атоме — вокруг ядра. Причем в обоих случаях вещество занимает ничтожную часть пространства. Так, в Солнечной системе почти вся масса (99,87%) сосредоточена в самом Солнце. И в атомах почти вся масса сосредоточена в ядре (в атоме водорода — 99,95%). Но атом намного более «пустой», чем Солнечная система. Расстояние от Солнца до самой далекой планеты примерно в 6500 раз больше радиуса самого Солнца. Размеры же атомов примерно в 100 000 раз превышают размеры ядра. Если «увеличить» ядро атома до размера булавочной головки, то сам атом увеличится до размера футбольного поля.

Это означает, что атомы «внутри» почти пустые. Если представить себе огромный свинцовый куб с ребром размером 100 м, то фактически вся его масса (11 млн т) будет сосредоточена в ядрах свинца, суммарный объем которых меньше спичечной головки. Ядра атомов заряжены положительно, а электроны отрицательно, и между ними действуют огромные силы притяжения.

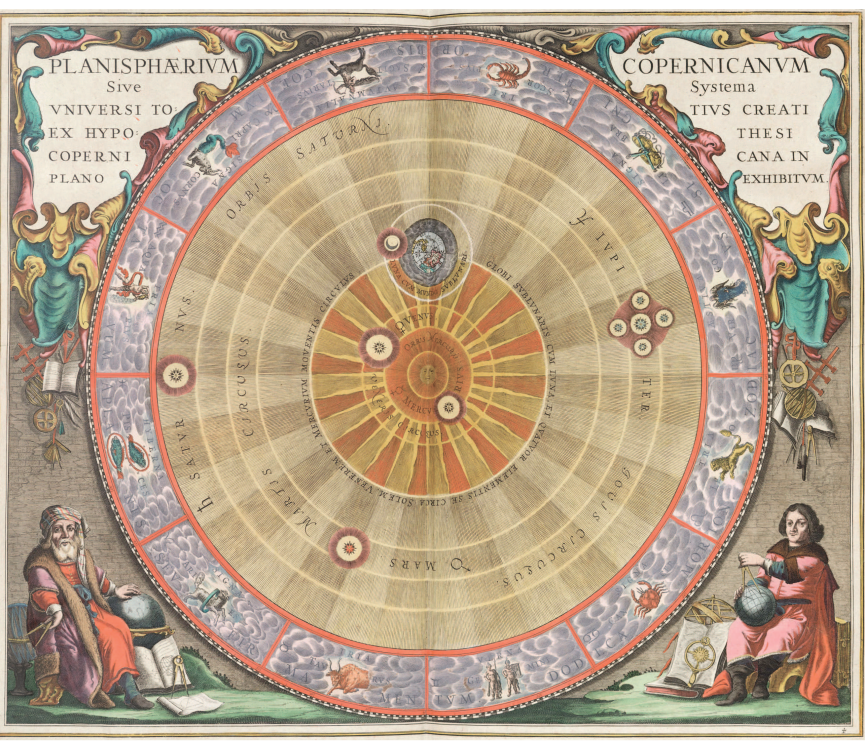
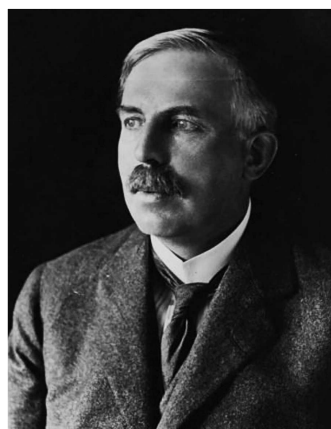
Сравнение атома с Солнечной системой очень приблизительное. Электроны не вращаются, подобно планетам, вокруг центрального ядра по круговым или эллиптическим орбитам, а также не вращаются вокруг своей оси. Их движение описывается законами квантовой механики, для которых в повседневной жизни невозможно найти аналогию. Например, электрон может поглотить квант света, фотон, и при этом мгновенно исчезнуть в одной области пространства и появиться в другой области, более далекой от ядра. После этого электрон может также мгновенно, минуя все промежуточные области пространства, опять оказаться ближе к ядру и при этом испустить другой квант света. Эти переходы так и называются — квантовыми. Именно квантовая механика объясняет строение атомов разных элементов и их расположение в Периодической системе Д. И. Менделеева.

Ядро атома водорода представляет собой положительно заряженную элементарную частицу — протон (от греч. *protos* — первый). В ядрах всех остальных атомов содержатся также не имеющие заряда элементарные частицы — нейтроны (от лат. *neuter* — ни тот ни другой) — от одного до 176 для известных ядер. Нейтроны помогают положительно заряженным протонам удерживаться в ядре, несмотря на огромные силы отталкивания между очень близко расположенными зарядами.

Каждый химический элемент имеет определенное число протонов в ядре: от одного для самого легкого до 118 для самого тяжелого из известных на середину 2026 г. В электрически нейтральном атоме число электронов равно числу протонов; именно электроны определяют основные химические свойства элемента. Число протонов в ядре элемента определяет заряд ядра Z и порядковый номер элемента в Периодической таблице.

Название для нейтронов
и протонов придумал
английский физик
Э. Резерфорд.

Гелиоцентрическая
Вселенная Коперника.
Иллюстрация
из звездного атласа
Андреаса Целлариуса
Harmonia Macrocosmica.
1660 г.



12 — КЛАРКИ ЭЛЕМЕНТОВ

В 1889 г. американский геохимик Франк Уиллсуорт Кларк (1847—1931) впервые попытался оценить содержание известных тогда химических элементов в земной коре. С этой целью он собрал все имеющиеся тогда сведения по составу горных пород и вывел их средний состав. Впоследствии числа, выражающие среднее содержание того или иного элемента в земной коре, по предложению геохимика и минералога академика А. Е. Ферсмана (1883—1945) стали называть кларками.

В таблице приведены кларки (в массовых процентах) для элементов в порядке их убывания. Следует учесть, что для определения кларка элемента нужно проанализировать множество образцов, взятых из разных мест, поэтому данные разных исследований могут различаться.

Кислород	46,4	Хром	0,0102	Самарий	0,0007	Таллий	0,000085
Кремний	28,2	Рубидий	0,0090	Гадолиний	0,0006	Лютеций	0,00008
Алюминий	8,23	Никель	0,0084	Диспрозий	0,00052	Тулий	0,00005
Железо	5,63	Цинк	0,0070	Цезий	0,00037	Йод	0,000045
Кальций	4,15	Церий	0,0066	Эрбий	0,00035	Индий	0,000025
Натрий	2,36	Медь	0,0060	Иттербий	0,00032	Сурьма	0,00002
Магний	2,33	Неодим	0,0042	Гафний	0,00030	Кадмий	0,000015
Калий	2,09	Лантан	0,0039	Бериллий	0,00028	Ртуть	0,000085
Титан	0,56	Иттрий	0,0033	Уран	0,00027	Серебро	0,000075
Водород	0,14	Кобальт	0,0025	Бром	0,00024	Селен	0,000005
Фосфор	0,105	Скандий	0,0022	Олово	0,00023	Палладий	0,000015
Марганец	0,095	Литий	0,0020	Тантал	0,00020	Висмут	0,0000085
Фтор	0,0625	Ниобий	0,0020	Европий	0,00020	Платина	0,0000005
Барий	0,0425	Азот	0,0020	Мышьяк	0,00018	Золото	0,0000004
Стронций	0,037	Галлий	0,0019	Германий	0,00015	Осмий	0,00000015
Сера	0,035	Свинец	0,0016	Гольмий	0,00013	Рутений	0,0000001
Углерод	0,020	Бор	0,0010	Вольфрам	0,000125	Родий	0,0000001
Цирконий	0,0165	Торий	0,00096	Молибден	0,00012	Иридий	0,0000001
Хлор	0,0145	Празеодим	0,00092	Тербий	0,00012	Теллур	0,0000001
Ванадий	0,012					Рений	0,00000007

Примечание. Указано содержание элементов в земной коре. В гидросфере и атмосфере содержится куда более значительное количество, например, водорода, кислорода, азота.

Из таблицы следует, что всего восемь элементов составляют более 99% массы земной коры. Видно также, что редкоземельных элементов (церия, неодима, лантана, иттрия и др.) значительно больше, чем брома, олова, мышьяка или серебра. Дело в том, что одни элементы сконцентрированы в ряде минералов, другие же сильно рассеяны, и выделить их из руд намного сложнее и дороже. Если определять не массовые, а атомные проценты, порядок распространённости элементов изменится. Например, водород по массе находится на девятом месте, а по числу атомов он переходит на пятое (лёгких атомов водорода много).

Состав внутренних слоёв Земли неизвестен. Тем не менее делались попытки оценить кларки всего земного шара в целом. И тогда на первое место выходит железо, потому что его много в ядре Земли.

Железо	38,8	Магний	11,2	Алюминий	1,07	Натрий	0,61
Кислород	27,2	Сера	2,74	Кальций	1,07	Кобальт	0,20
Кремний	13,8	Никель	2,70				

Распределение химических элементов в организме человека (в процентах по массе) иное (даны приблизительные числа, так как все люди разные; особенно это касается более редких элементов).

Кислород	65	Фосфор	1	Магний	0,05	Кремний	0,002
Углерод	18	Калий	0,25	Железо	0,006	Медь	0,0001
Водород	10	Сера	0,25	Фтор	0,0037	Алюминий	0,000087
Азот	3	Натрий	0,15	Цинк	0,0032	Иод	0,000016
Кальций	1,5	Хлор	0,15				

Совершенно другая картина получается для распространённости элементов в космосе, точнее, в нашей галактике (также в процентах по массе).

Водород	73,9	Углерод	0,46	Азот	0,096	Сера	0,044
Гелий	24,0	Неон	0,134	Кремний	0,065	Калий	0,021
Кислород	1,04	Железо	0,109	Магний	0,058	Никель	0,010

На долю всех остальных элементов приходится немногим более 0,06 %.

Распространённость элемента в первую очередь зависит от чётности числа нейтронов в его ядре. Стабильных нечётно-нечётных ядер известно только четыре. Самые стабильные ядра содержат чётное число протонов и нейтронов. А среди этих ядер наиболее стабильные содержат 2, 8, 20, 28, 50, 82 или 126 протонов или нейтронов; такие числа называли магическими. Ядра ⁴He, ¹⁶O, ⁴⁰Ca и ряд других являются дважды магическими (магическое число и протонов, и нейтронов), поэтому их во Вселенной относительно много.

Водород

Слово «водород» (рождающий воду) — калька с французского hydrogène. Это слово придумал знаменитый французский химик А. Л. Лавуазье, произведя его от греч. hydor («вода») и genes («рожденный»). Лавуазье впервые доказал, что вода состоит из водорода и кислорода.

Скорость звука в водородe почти в 4 раза выше, чем в воздухе.

Свободный водород встречается в небольших количествах в вулканических газах, но он быстро покидает атмосферу, уходя в космическое пространство.

В организме среднего человека (70 кг) содержится около 7 кг водорода.

Водород — единственный элемент, изотопы которого имеют свои названия. ^1H — протий (от греч. *protos* — «первый»), ^2H (D) — дейтерий (от греч. *deuteros* — «второй»), ^3H (T) — тритий (от греч. *tritos* — «третий»). Плотность водорода при нормальных условиях 0,09 г/л, это самый легкий газ, он в 14 раз легче воздуха.

При сильном охлаждении водород становится жидким, а затем — твердым. Температура плавления водорода — минус 259,1 °C, температура кипения — минус 252,9 °C. Жидкий водород — самая легкая жидкость, один литр ее весит всего 67 г, а твердый водород — самое легкое твердое вещество: его плотность — 0,076 г/см³.

Водород очень близок к идеальному газу: при нормальных условиях 1 моль водорода занимает объем 22,42 л, что практически не отличается от теоретического объема для идеального газа (22,41 л). В чистом виде водород впервые получил в 1766 г. английский химик и физик Генри Кавендиш.

В природе он практически всегда связан с другими элементами, чаще всего — с кислородом (например, в воде), и углеродом (в органических соединениях). В виде соединений с углеродом водород входит в состав нефти, природных газов, всех живых организмов.

В промышленности газообразный водород получают в основном в реакции метана с водяным паром при высоких температурах. Основное его применение — синтез аммиака, который нужен для производства удобрений, взрывчатых и лекарственных средств. Жидкий водород используют как ракетное топливо.

Существует и водородная энергетика. В топливных элементах происходит «холодное» горение водорода, энергия которого непосредственно превращается в электрическую энергию. Такой процесс имеет высокий КПД, а его выхлоп — безвредный водяной пар. Однако широкому распространению водородной энергетике препятствует высокая стоимость производства водорода, опасность его хранения и транспортировки.



молекула
водорода

1

H

Водород
1,008